

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до розрахунку моста решітчастої конструкції  
з курсу

“МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ ПТМ”

для студентів спеціальності 6.05050308  
“Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні,  
меліоративні машини та обладнання”

Харків 2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до розрахунку моста решітчастої конструкції  
за курсом

“МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ ПТМ”

для студентів спеціальності 6.05050308  
“Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні,  
меліоративні машини та обладнання”

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету  
протокол № 2 від 12.12.13

Харків НТУ “ХПІ” 2014

Методичні вказівки до розрахунку моста решітчастої конструкції за курсом «Металеві конструкції ПТМ» для студентів спеціальності 6.05050308 «Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини та обладнання» / уклад. Григоров О.В., Петренко Н.О. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – 27 с.

Укладачі: О.В. Григоров  
Н.О. Петренко

Рецензент В.В. Офій

Кафедра підйомно-транспортних машин та обладнання

## Вступ

Дані методичні вказівки призначені для студентів спеціальності 6.05050308 „Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини та обладнання”. Вони допоможуть студентам оволодіти знаннями з курсу „Металеві конструкції ПТМ”. У цих вказівках надана методика розрахунків головної ферми мостового крана решітчастої конструкції на міцність, жорсткість та стійкість, а також надані рекомендації щодо конструювання вузлів ферми. Цю методику студенти використовують при виконанні курсового проекту з курсу „Металеві конструкції ПТМ” та бакалаврського проекту.

Метою вказівок є надання студентам знань у розрахунках металоконструкції мостових кранів.

### 1. Опис конструкції та вихідні дані

Металева конструкція моста решітчастої конструкції складається з двох просторово-жорстких прогінних балок 1 (рис. 1), з'єднаних по краях кінцевими балками 2, у яких установлені ходові колеса крана 3.

Кожна прогінна балка містить у собі головну ферму, допоміжну (бокову) і дві горизонтальні. Для надання прогінній балці геометричної незмінюваності уздовж прогону розміщуються розкоси 4, які знаходяться в площині стійок головної і допоміжної ферм.

До складу головної ферми входить верхній пояс 6, нижній пояс 9, розкоси 8 і стійки 7. До верхнього поясу кріпиться підвізкова рейка 5.

Дані для проектування наведені в табл. 1. Висота ферми (відстань між центрами ваги верхнього й нижнього поясів)  $H = \left( \frac{1}{12} + \frac{1}{16} \right) L$  (менше значення відноситься до прогонів довжиною більше 22 м). Висота ферми в

місці кріплення до кінцевої балки  $H' = (0,5 \div 0,6)H$ . Ширина горизонтальних ферм з умови жорсткості в горизонтальній площині  $B = (1,2 \div 1,4)$  м. Довжина панелі верхнього поясу  $d = (0,8 \div 1,2)H$ . Вибираючи  $H$  і  $d$  необхідно прагнути до того, щоб кут нахилу розкосів був близький чи дорівнював  $45^\circ$ .

## 2. Навантаження і їх сполучення

Розрахунок балки проводиться методом допустимих напружень. За цим методом навантаження поділяються на основні й додаткові.

До основних навантажень відносять постійні (власна вага балки, вага площі, механізму пересування, кабіни та ін.). Додаткові навантаження – це динамічні навантаження, що виникають при пуску /гальмуванні моста.

Розрахунок балки виконується для двох сполучень навантажень:

**Сполучення 1** (кран нерухомий, різкий підйом вантажу):

$$G_6 + G_T + \psi Q;$$

**Сполучення 2** (кран пересувається, різке гальмування):

$$k(G_6 + G_T + Q) + 2(q' + p'),$$

де  $G_6$  – вага головної балки;  $G_B$  – вага вантажного візка;  $\psi$  – коефіцієнт динамічності при підйомі вантажу;  $q'$ ,  $p'$  – відповідно динамічні навантаження від мас балки і мас візка з вантажем.

Визначення коефіцієнта  $\psi$  зв'язано з параметрами механізму підйому. Орієнтовно значення  $\psi$  можна призначити залежно від режиму роботи: при легкому (1К–3К) – це 1,2; при середньому (4К–5К) – 1,3; при важкому (6К–8К) – 1,4.

Коефіцієнт поштовхів  $k$  вибирається залежно від швидкості пересування крана  $V$ : при  $V$  до 60 м/хв  $k = 1$ ; при  $V = 60–90$  м/хв  $k = 1,1$ ; при  $V = 90–180$  м/хв  $k = 1,2$ .

## 3. Вибір марки сталі і допустимих напружень

Вибір марки сталі і допустимих напружень залежить від температури навколишнього повітря, при якій експлуатується кран, і режиму роботи.

Для виготовлення прогінних балок застосовуються маловуглецеві сталі звичайної якості за ДСТ 380-71 і низьколеговані сталі за ДСТ 19281-73 і ДСТ 19282-73.

Застосування тієї чи іншої марки сталі обумовлено головним чином температурою зовнішнього повітря, при якій експлуатується кран:

1. при температурі  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  і вище застосовують сталі звичайної якості марок В Ст 3 пс 6, В Ст 3 сп 5 та ін;
2. при температурі  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  і вище – В Ст 3 сп 6, В Ст 3 сп 5 і низьколеговані сталі марок 09Г2, 14Г2, 10Г2С1 та ін;
3. при температурі від  $-40$  до  $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 09Г2С, 10ХСНД, 15ХСНД та ін.

При виборі марки сталі варто пам'ятати, що низькі температури збільшують крихкість сталі. При температурах  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  пластичність сталі починає помітно падати.

При температурі нижче мінус  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  для Ст.3 і мінус  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  – для низьколегованої сталі вона стає крихкою.

Застосування низьколегованих сталей замість маловуглецевих звичайної якості повинно бути економічно виправдано, оскільки вартість, наприклад, сталі марки 09Г2С вище вартості сталі марки Ст 3, а вартість сталей марок 15ХСНД і 10ХСНД – ще вище.

Напруження, що допускаються, для першого і другого сполучення навантажень:

$$[G_i] = \frac{G_T}{n_i},$$

де  $G_T$  – межа текучості сталі, для деяких марок сталей  $\sigma_T$  наведена у табл. 2;  $i$  – номер сполучення навантажень;  $n_i$  – коефіцієнт запасу міцності для даного режиму роботи. Коефіцієнти  $n_i$  вибираються залежно від режиму роботи: при легкому і середньому режимах (1К–5К)  $n_1 = 1,5$ ,  $n_2 = 1,33$ ; при важкому режимі (6К–8К)  $n_1 = 1,7$ ,  $n_2 = 1,4$  (табл. 1.).

Таблиця 1

Показники	Марка сталі				
Межа текучості	В Ст 3 пс В Ст 3 сп	09Г2	09Г2С	15ХСНД	10ХСНД
КН/см <sup>2</sup>	25	31	33	35	40
МПа	250	310	330	350	400

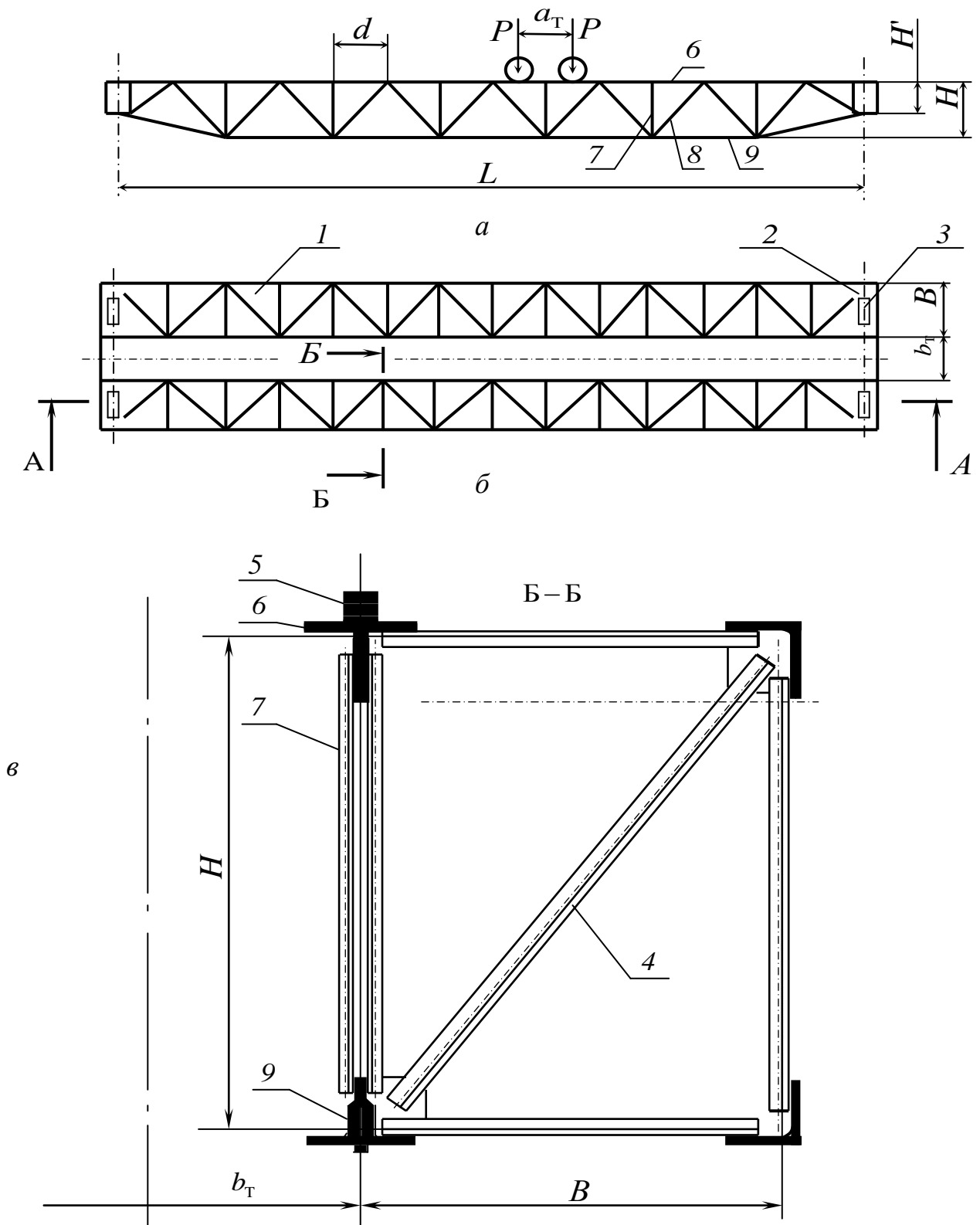


Рисунок 1 – Схема мостового крана решітчастої конструкції:  
 $a$  – фронтальна проекція;  $b$  – горизонтальна проекція;  $в$  – профільна проекція

Вихідні дані (табл. 2)

Таблиця 2

Номер завдання	Вантажопідйомність $Q$ , кН	Прогін $L$ , м	Швидкість пересування крана $V$ , м/хв	Час гальмування крана $t$ , м/хв	Вага візка $P$ , кН	Режим роботи	Розрахункова температура, $t$ , °C
1	50	25,5	50	1,5	17	3К	±30
2	50	28,5	80	2,0	17	4К	+20÷—60
3	50	31,5	110	2,5	23	6К	±40
4	100	26	50	1,6	24	3К	±30
5	100	32	80	2,2	24	5К	+20÷—60
6	100	29	120	2,8	41	7К	±40
7	150	26	50	1,8	44	3К	±40
8	150	32	70	2,3	46	4К	±20
9	150	29	120	3,0	53	6К	±60
10	200	28,5	80	2,4	76	4К	±30
11	200	25,5	120	3,0	83	6К	±40
12	300	28,5	80	2,5	100	5К	±30
13	300	31,5	120	3,0	120	7К	±40
14	50	22,5	60	2,0	16	5К	±40
15	63	22,5	70	2,0	17	3К	±20
16	63	25,5	70	2,5	19	4К	±40
17	63	28,5	60	2,0	30	6К	±20
18	63	31,5	90	2,5	30	7К	±20
19	160	22,5	80	2,5	60	6К	±40
20	160	25,5	90	2,8	50	4К	+20÷—60
21	160	31,5	100	3,0	50	3К	±40
22	160	28,5	110	3,0	50	5К	±20
23	200	22,5	90	2,5	70	3К	+20÷—60
24	200	31,5	80	2,5	75	4К	±40
25	300	22,5	90	3,0	90	3К	±20
26	300	25,5	100	3,0	110	3К	±40
27	100	22,5	90	3,0	24	3К	±20
28	250	22,5	90	3,0	100	5К	+20÷—60
29	250	25,5	100	3,0	100	3К	+20÷—60
30	250	31,5	80	2,5	100	5К	±40
31	250	28,5	60	2,0	100	3К	±20
32	100	22,5	70	2,0	25	4К	±40

#### 4. Визначення зусиль в елементах головної ферми

При розрахунку елементів прогінної балки її розділяють на ряд плоских ферм. Вважають, що навантаження від тиску ходових коліс візка і



частину власної ваги балки приймає головна ферма; навантаження від іншої частини власної ваги балки приймає допоміжна ферма; горизонтальні динамічні навантаження приймають горизонтальні ферми.

#### ***4.1. Визначення зусиль від навантажень, що діють у вертикальній площині ферми***

Власна вага прогінної балки  $\sigma_6$  визначається за графіком, наведеним на рис. 2. Більшу частину ваги балки приймає головна ферма:

$$G_{\phi} = (0,55 \div 0,70) G_6$$

(менше значення відноситься до кранів малої вантажопідйомності).

Вага  $\sigma_{\phi}$  розподіляється між вузлами верхнього поясу. Навантаження в кожному вузлі складає:

$$q = \frac{G_{\phi}}{m-1}, \quad (1)$$

де  $m$  – число усіх вузлів, що примикають до верхнього поясу. У крайніх вузлах діє навантаження  $q/2$ .

Зусилля в елементах головної ферми від власної ваги знаходять за допомогою побудови діаграми зусиль Максвелла – Кремоне, яка показана на рис. 3. Оскільки ферма симетрична, то досить побудувати діаграму для однієї її половини.

Тиск ходових коліс від ваги візка  $G_B$  з вантажем  $Q$  сприймається тільки елементами головної ферми. Тиск на одне ходове колесо:

$$P = \frac{G_B + Q}{4}. \quad (2)$$

Переріз верхнього поясу ферми виконують постійним по всій довжині прогону. У зв'язку з цим вибір перерізу здійснюється за максимальним зусиллям, що зазнає пояс від ваги балки і візка з вантажем.

Те ж саме відноситься і до перерізів нижнього поясу та до стійок і розкосів.

Максимальні зусилля як від власної ваги ферми, так і від рухомого навантаження, будуть сприймати стрижні 7–26 і 8–24 верхнього поясу й стрижень 15–25 нижнього поясу (рис. 3). Визначимо ці зусилля.

Зусилля в стрижні 7–26 від рухомого навантаження буде максимальним, коли ліве колесо візка стане над моментною точкою  $A_1$  (рис. 4, а).

$$S_{7-26} = -\frac{x_1}{H} R_A, \quad (3)$$

Величина реакції  $R_A$  залежить від положення візка на мосту:

$$R_A = \frac{P}{L}(2L - 2x - a_B), \quad (4)$$

де  $a_B$  – база візка,  $a_B = (0,8 \div 1,2)d$ ,  $x$  – поточна координата лівого колеса візка від опори  $A$ . Для (3)  $R_A$  визначається з рівняння (4) при  $x = x_1$ . Зусилля в стрижні 15–25 буде максимальним, якщо ліве колесо візка поставити над моментною точкою  $A_2$ .

Реакція  $R_A$  визначається за формулою (4) з підстановкою  $x = x_2$ .

$$S_{15-25} = \frac{x_2}{H} R_A. \quad (5)$$

**Розкоси.** Найбільш навантаженим є опорний розкіс 1–34. Однак за розрахунковий приймається розкіс 31–32, що має більшу довжину, ніж опорний (це має немаловажне значення при розрахунку стиснутих стрижнів), і крім того, опорний розкіс 1–34 з конструктивних міркувань підкріплюється додатковою фасонкою.

Зусилля в розкосі 31–32 буде максимальним, якщо ліве колесо поставити у вузол  $A_3$ . Розрізавши ферму, як це показано на рис. 4, *а*, і проектуючи зусилля залишеної лівої частини ферми і реакцію  $R_A$  на вертикальну вісь, одержимо:

$$S_{31-32} = -\frac{R_A}{\sin \alpha}, \quad (6)$$

де  $\alpha$  – кут між розкосом і нижнім поясом;  $R_A$  – величина реакції, підраховується за (4) з підстановкою  $x = x_3$ .

#### ***4.2. Визначення зусиль від навантажень, діючих у горизонтальній площині ферми***

Вище було відзначено, що динамічні навантаження, які виникають у процесі пуску/гальмування моста, сприймаються елементами горизонтальних ферм. Нижня горизонтальна ферма (рис. 4, *б*) включає стійки 1, розкоси 2 і пояси 3 і 4, причому пояс 3 є одночасно і поясом головної ферми.

Оскільки мова йде тільки про головну ферму, то немає необхідності шукати зусилля у всіх стрижнях горизонтальної ферми – досить визначити зусилля тільки в стрижні 7–26 верхнього поясу.

Динамічне навантаження  $q'$  від частини маси прогінної балки розподіляється вузлами ферми (мається на увазі, що верхня горизонтальна ферма сприймає навантаження від маси  $G_{\phi}$ , іншу частину сприймає нижня горизонтальна ферма):

$$Q' = \frac{q \cdot V}{g \cdot t}, \quad (7)$$

де  $V$  – швидкість пересування крана, м/с.

Динамічне навантаження від маси візка з вантажем:

$$P' = \frac{P \cdot V}{g \cdot t}. \quad (8)$$

Зусилля в стрижні 7–26 буде максимальним, коли ліве колесо візка стане над моментною точкою  $A_1'$  (рис. 4, б):

$$S'_{7-26} = \frac{1}{B} (\sum M_{q'} - M(R'_{Aq'}) - M(R'_{AP'})), \quad (9)$$

де  $M(R'_{Aq'}) = \frac{(m-1) \cdot q'}{2}$  – момент від реакції  $R'_{Aq'}$ , яка викликана динамічним навантаженням  $q'$ ;  $m$  – число вузлів верхнього поясу;  $M(R'_{AP'}) = \frac{P'}{L} (2L - 2x_1 - a_T) \cdot x_1$  – момент від реакції  $R'_{AP'}$ , яка викликана динамічним навантаженням  $P'$ ;  $\sum M_{q'}$  – сума моментів сил  $q'$ , роз-, ташованих лівіше перерізу I–I відносно точки  $A_1'$ .

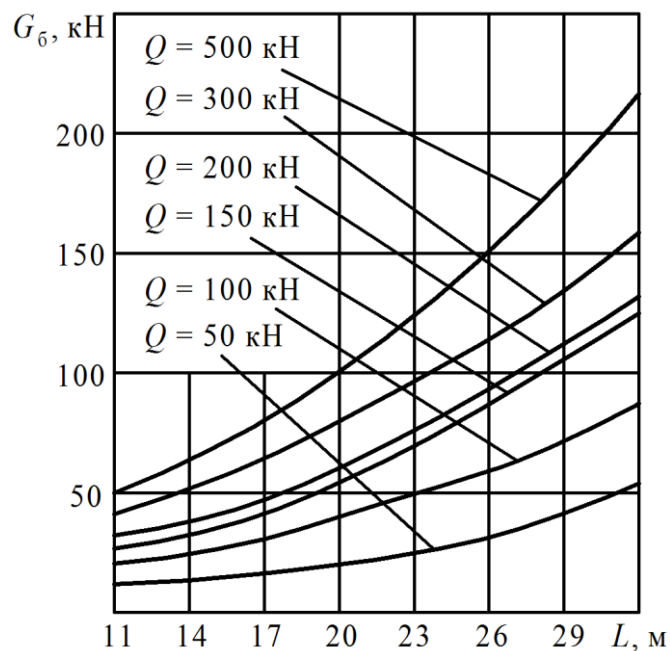
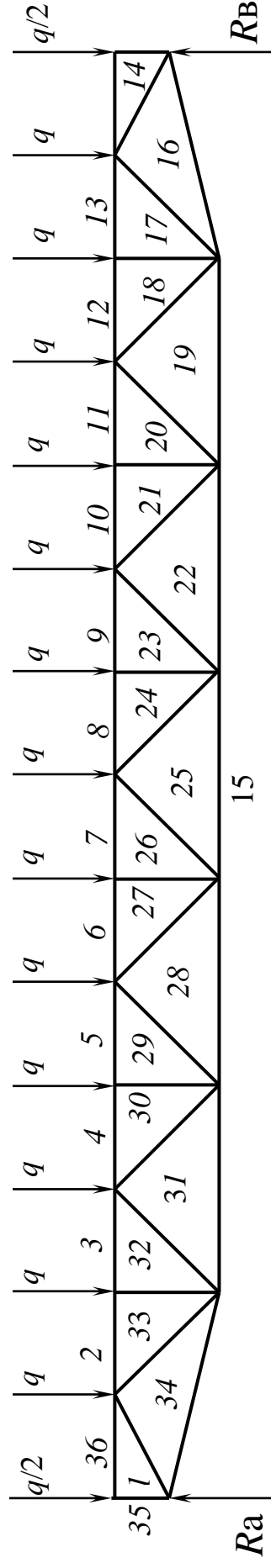
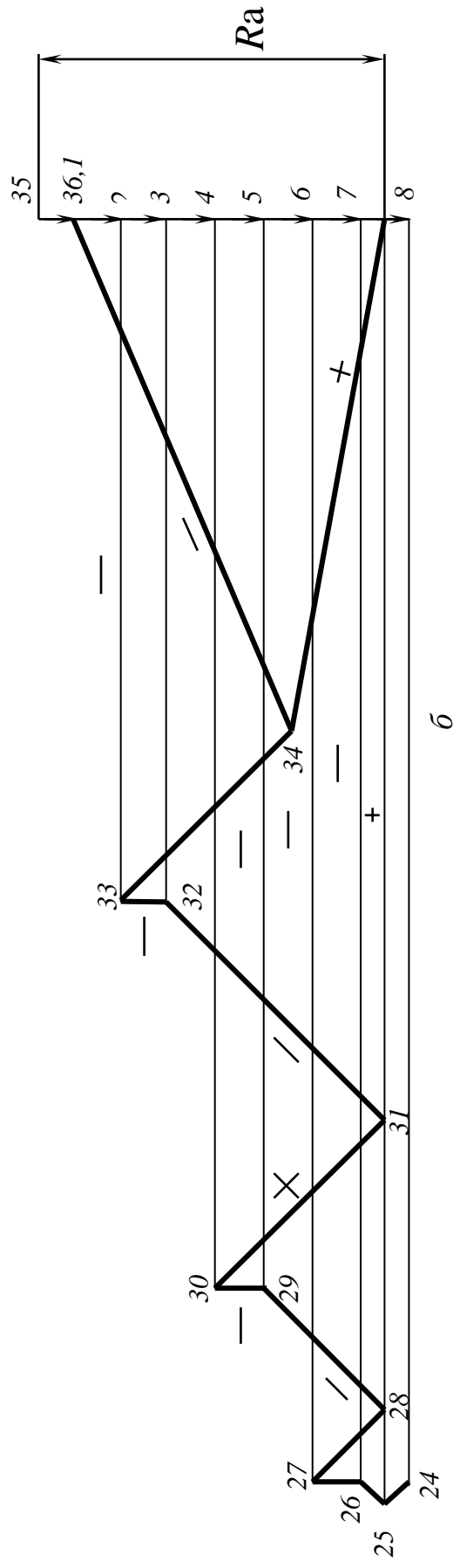


Рисунок 2 – Власна вага прогінної балки



*a*



*b*

Рисунок 3 – Визначення зусиль в стрижнях ферми від вертикальних сил:

(знак “-” – стрижень стиснутий, знак “+” – стрижень розтягнутий)

*a* – схема ферми; *b* – діаграма

## 5. Вибір перерізів елементів головної ферми

Для проектування головної ферми необхідно вибрати переріз верхнього і нижнього поясів, розкосів і стійок.

### 5.1. Вибір перерізу верхнього поясу

На рис. 5 подані типи перерізів верхнього поясу, що найбільш часто застосовують для мостів, які мають конструкцію ферми. Перші два типи перерізів застосовують для кранів невеликої вантажопідйомності (до 200 кН).

По верхньому поясі укладають підвізкові рейки у вигляді квадрата (гарячекатана сталь ДСТ 46 93-77) або рейки типу  $P$ .

Прийmemo переріз верхнього поясу у вигляді тавра. Спочатку площа перерізу вибирається орієнтовно, за максимальним зусиллям, що виникає в стрижні поясу від навантажень першого сполучення:

$$F = \frac{S_q + S_{p\psi}}{[\sigma]}, \quad (10)$$

де  $[\sigma]$  – допустимі напруження;  $S_q$  – зусилля в стрижні 7–26 від власної ваги ферми;  $S_{p\psi}$  – зусилля в стрижні 7–26 від рухомого навантаження з урахуванням коефіцієнта  $\psi$ ; обчислюється за (3) і (4) з підстановкою  $P_\psi$  замість  $P$

$$P_\psi = \frac{G_B}{4} + \psi \frac{Q}{4}. \quad (11)$$

Формула (10) не враховує місцевого згину верхнього поясу, тому допустимі напруження мають бути зниженими до  $[\sigma] = (0,55 \div 0,70)[\sigma_1]$ .

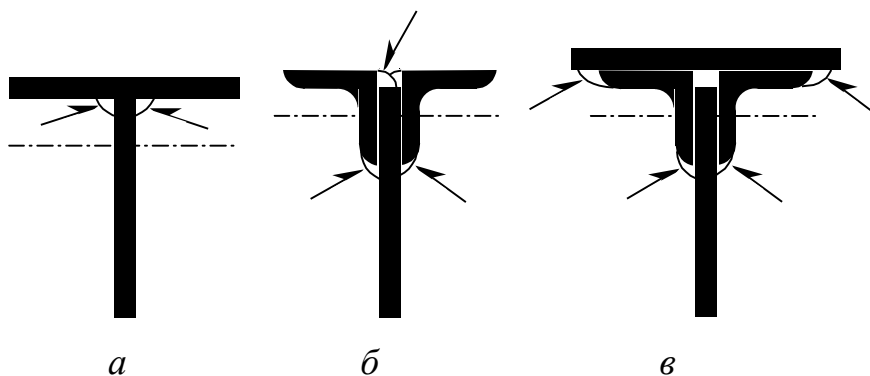


Рисунок 5 – Типи перерізів верхнього поясу:

$a, б$  – для кранів невеликої вантажопідйомності до 20 т;  $в$  – для кранів вантажопідйомності більш 20 т

Визначивши за (10) площу перерізу поясу  $F$ , призначають розміри полиці і стінки тавра.

Для кранів малої вантажопідйомності 50–80 кН і легкого режиму (1К–3К) роботи підвізкову рейку можна приварювати до поясу, і тоді площу перерізу рейки вводять у площу перерізу поясу. В інших випадках рейка кріпиться до поясу планками і до складу перерізу поясу не входить.

Площа перерізу розподіляється приблизно порівну між стінкою і полицею. Знос полиці  $b_1$  (рис. 6) за умовою місцевої стійкості призначають з умови

$$b_1 \leq (12 \div 15) \delta_{\Pi}, \quad (12)$$

де  $\delta_{\Pi}$  – товщина полиці:  $\frac{b}{\delta_{\Pi}} \leq 15 \div 20$ ;  $\frac{h}{\delta_c} \leq 15 \div 20$ .

Менше значення  $b_1$  приймають для низьколегованих марок сталей, більше – для вуглецевих сталей. Висота стінки призначається трохи більшою довжини полиці  $b$  з таким розрахунком, щоб можна було приварити розкоси й стійки до поясу без фасонки. Задавшись розмірами  $b$ ,  $\delta_{\Pi}$ ,  $h$  і  $\delta_c$ , знаходять положення нейтральної осі перерізу.

Відстань від крайки полиці до нейтральної осі перерізу (див. рис. 6):

$$l_1 = \frac{0,5 F_{\Pi} \cdot \delta_{\Pi} + F_c (0,5h + \delta_{\Pi})}{F},$$

де  $F_{\Pi}$ ,  $F_c$  – площа перерізу відповідно полки і стінки.

$$F = F_{\Pi} + F_c.$$

Обраний переріз верхнього поясу перевіряється за методом допустимих напружень за формулою

$$\sigma_1 = \frac{S_q + S_{p\psi}}{\phi_x \cdot F} + \frac{M_{\Pi}}{W_{x_1}} \leq [\sigma_1], \quad (13)$$

де  $\phi_x$  – коефіцієнт зменшення допустимих напружень через дію повздожнього вигину (стійкості) відносно осі  $x$ - $x$  (рис. 6). Він вибирається залежно від гнучкості стрижня і класу міцності сталі (додаток 1);

$W_{x_1} = \frac{J_x}{l_1}$  – момент опору перерізу для верхніх волокон полиці;

$J_x = \frac{b\delta_{\Pi}^3 + \delta_c h^3}{12} + F_{\Pi} \left( l_1 - \frac{\delta_{\Pi}}{2} \right)^2 + F_c \left( \frac{h}{2} + \delta_{\Pi} - l_1 \right)^2$  – момент інерції перерізу відносно осі  $x$ - $x$ .

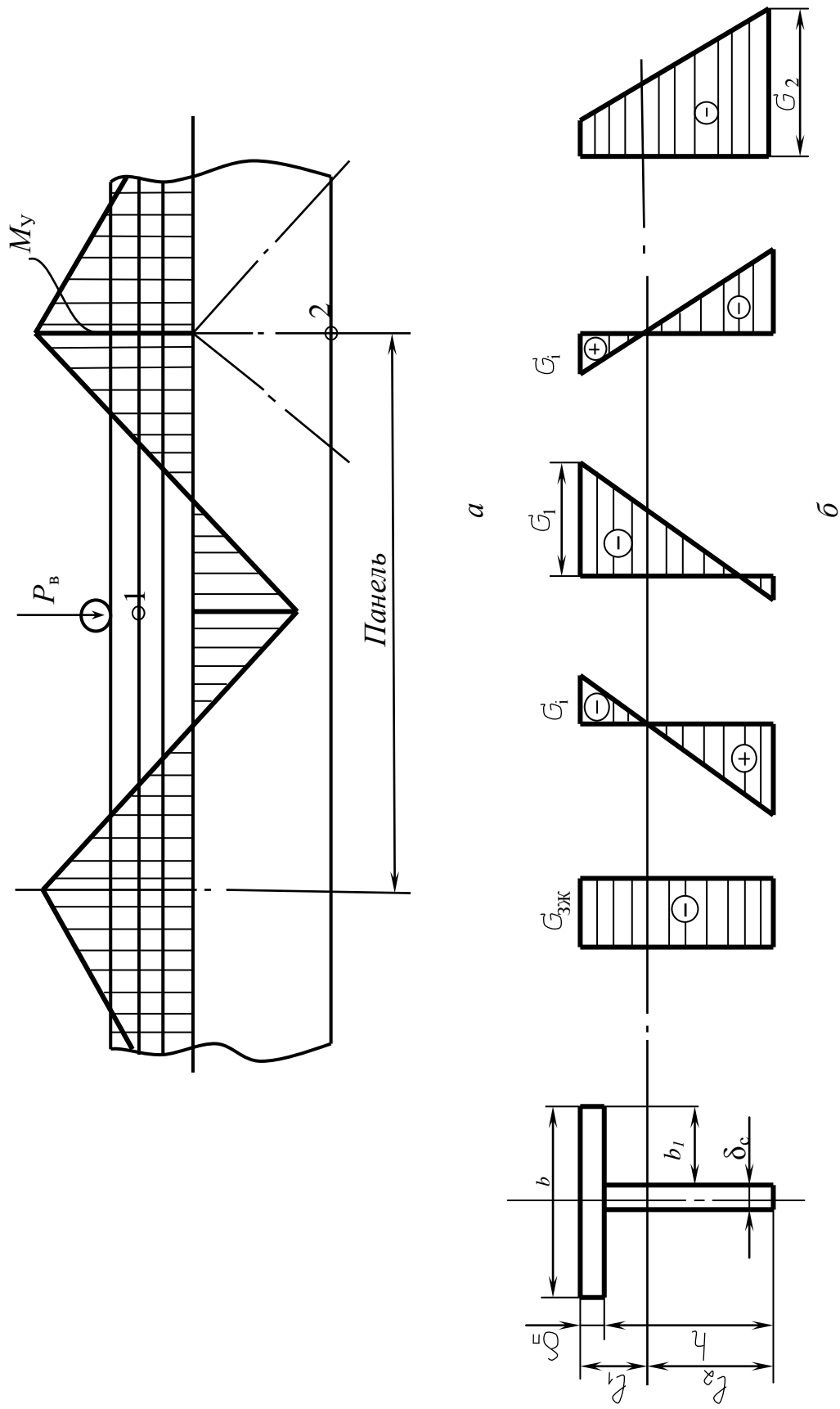


Рисунок 6 – Схема до розрахунку напружень у переті верхнього поясу:  
 $a$  – сумарна епюра у середині панелі;  $b$  – сумарна епюра у вузлі.

Гнучкість поясу  $\lambda_x$  відносно осі  $x-x$  визначається за формулою:

$$\lambda_x = \frac{d}{r_x} \leq 120, \quad (14)$$

де  $r_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}}$  – радіус інерції перерізу щодо осі  $x-x$ .

Формула (13) визначає величину напружень у верхніх волокнах перерізу в середині панелі (точка 1, рис. 6).

Місцевий (панельний) згинальний момент визначається за формулою

$$M_{\Pi} = \frac{P_{\psi} \cdot d}{6}, \quad (15)$$

де  $P_{\psi}$  – тиск на одне ходове колесо з урахуванням коефіцієнту динамічності (11).

Другий небезпечний переріз буде у вузлі, оскільки тут також діє згинальний момент  $M_y$ , але зі зворотним знаком.

Напруження для нижніх волокон у вузлі (точка 2, рис. 6):

$$\sigma_2 = \frac{S_q + S_{pw}}{\phi_x \cdot F} + \frac{M_y}{W_{x2}} \leq [\sigma_2], \quad (16)$$

де  $M_y = \frac{P_{\psi} \cdot d}{12}$  – момент у вузлі;  $W_{x2} = \frac{J_x}{l_2}$  – момент опору перерізу для нижніх волокон;  $l_2 = h + \delta_{\Pi} - l_1$  – відстань від кромки стінки перерізу до нейтральної осі.

Якщо обраний переріз задовольняє умовам міцності (13) і (16), то переходять до перевірки перерізів по другому сполученню навантажень з урахуванням стійкості поясу відносно осі  $x-x$  так і відносно осі  $y-y$ :

$$\sigma_x = \frac{k(S_q + S_p) + 2S'}{\phi_x \cdot F} + \frac{M_{\Pi}}{W_{x1}} \leq [\sigma_2]; \quad (17)$$

$$\sigma_y = \frac{k(S_q + S_p) + 2S'}{\phi_y \cdot F} + \frac{M'_{\Pi}}{W_y} \leq [\sigma_2], \quad (18)$$

де  $k$  – коефіцієнт поштовхів;  $S'$  – зусилля в стрижні 7–26 від горизонтальних динамічних навантажень (9);  $\phi_y$  – коефіцієнт зменшення допустимих напружень через дію повздовжнього вигину відносно осі  $y-y$  (додаток 1);  $M'_{\Pi} = \frac{P' \cdot d}{6}$  – місцевий момент від сили  $P'$  (формула (8));

$W_y = \frac{2J_y}{b}$  – осьовий момент опору перерізу поясу щодо осі  $y-y$ ;



$J_y = \frac{\delta_{\text{п}} b^3 + h \delta_{\text{с}}^3}{12}$  – момент інерції перерізу відносно осі у-у;

$\lambda_y = \frac{d}{r_y}$ ,  $r_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}}$  – відносна гнучкість поясу та радіус інерції перерізу відносно осі у-у.

**Стійкість поясу.** Ширина і товщина полки вже обрані з умови місцевої стійкості (12).

Перевіримо стійкість стінки, оскільки її висота  $h > b$ , а товщина  $\delta_{\text{с}} < \delta_{\text{п}}$ .

Стінка розглядається як пластина, пружно підперта з трьох сторін, і вільна – з четвертої, довгої сторони. Стінка зазнає рівномірного стиснення з двох коротких сторін.

Критичні напруження,  $\text{кН/см}^2$ , для такого закріплення пластини:

$$\sigma_{\text{кр}} = 0,8 \cdot 10^4 \left( \frac{\delta_{\text{с}}}{h} \right)^2. \quad (19)$$

Пластина буде стійка проти місцевого вигинання, якщо

$$\frac{\sigma_{\text{кр}}}{\sigma_{\text{ст}}} > 1,2. \quad (20)$$

За розрахунковий  $\sigma_{\text{ст}}$  варто взяти більше значення  $\sigma$  з виразів (13), (17) і (18), без другого додатка.

## 5.2. Вибір перерізу нижнього поясу

Нижній пояс розтягнутий. Прийmemo переріз із двох кутників. Площа перерізу поясу  $F$  визначається з умови:

$$F = \frac{S_q + S_{\text{р}\psi}}{[\sigma_1]}, \quad (21)$$

де  $S_q$  – зусилля в стрижні 15–25 від власної ваги балки, визначається за діаграмою зусиль на рис. 3;  $S_{\text{р}\psi}$  – зусилля в стрижні 15–25 від рухомого навантаження з урахуванням коефіцієнта  $\psi$ ; обчислюється з (4) і (5), де замість  $P$  варто підставити  $P_{\psi}$  (11).

За отриманим значенням  $F$  підбирають рівнополочні (ДСТ 8509-72) чи нерівнополочні (ДСТ 8510-72) кутники, при цьому гнучкість стрижня не повинна перевищувати 150 (додаток 2).

### 5.3. Вибір перерізу розкосів і стійок

Переріз розкосів і стійок звичайно складається з двох рівнополочних кутників, з'єднаних по довжині планками.

Спочатку площа перерізу розкосу підбирається орієнтовно, при гнучкості  $\lambda=100$ , за формулою

$$F = \frac{S_q + S_{p\psi}}{\varphi \cdot [\sigma_1]}, \quad (22)$$

де  $S_q$  – зусилля в розкосі 31–32 від власної ваги балки;  $S_{p\psi}$  – зусилля в розкосі 31–32 від рухомого навантаження, обчислюється за (6) з підстановкою у (4),  $P = P_\psi$  (11);  $\varphi$  – коефіцієнт зменшення допустимих напружень через дію поздовжнього вигину; спочатку приймаємо  $\varphi = 0,6$  для Ст.3 і  $\varphi = 0,5$  – для низьколегованої.

За площею (22) вибирають два рівнополочних кутника загальною площею  $F_{\Pi}$  (див. додаток 2) і потім знаходять дійсну гнучкість стрижня.

Гнучкість стрижня в площині ферми (рис. 7):

$$\lambda_x = \frac{0,8l}{r_x}, \quad (23)$$

де  $l$  – геометрична довжина розкосу.

Гнучкість стрижня з площини ферми:

$$\lambda_y = \frac{l}{r_y}. \quad (24)$$

$$r_y = \sqrt{\frac{J_{\Sigma y}}{F_{\Sigma}}}; \quad J_{\Sigma y} = 2(J_{yL} + F_L \cdot a^2); \quad r_x = \sqrt{\frac{J_{xL}}{F_L}},$$

де  $a$  – відстань від центра ваги кутника до загальної осі перерізу,  $F_{\Pi} = 2F_L$  – сумарна площа двох кутників;  $J_{yL}$  – момент інерції кутника відносно осі  $Y$ .

За більшою гнучкістю знаходять  $\varphi$  і визначають дійсне напруження у розкосі (додаток 1):

$$\sigma = \frac{S_q + S_{p\psi}}{\varphi \cdot F_{\Pi}} \leq [\sigma_1]. \quad (25)$$

Оскільки розкоси і стійки складаються з двох кутників, то останні з'єднують планками довжиною 60–100 мм і товщиною, яка дорівнює зазору між кутниками. Висота планок приймається такою, щоб їх можна було приварити до кутників швом товщиною 5–6 мм.

Відстань між осями планок дорівнює  $40r$  для стиснутих і  $80r$  – для розтягнутих планок, де  $r$  – радіус інерції одного кутника щодо власної осі, рівнобіжної площині планки.

Порядок розрахунку перерізу стійок такий же, як і для розкосів. Стійки розраховуються на зусилля  $S = q + P_{\psi}$ .

Гнучкість стиснутих розкосів і стійок не повинна перевищувати  $120 \div 150$ .

## 6. Визначення прогину ферми

Прогин ферми визначається стосовно дії статично прикладеного рухомого навантаження за формулою Мора:

$$f = \sum_{i=1}^n \frac{S_{pi} \cdot S_{li}}{E \cdot F_i} \cdot l_i, \quad (26)$$

де  $S_{pi}$  – зусилля в  $i$  стрижні від рухомого навантаження;  $S_{li}$  – зусилля в  $i$  стрижні від одиничної сили;  $l_i$  – довжина  $i$  стрижня, см;  $F_i$  – площа  $i$  стрижня, см<sup>2</sup>;  $n$  – число усіх стрижнів ферми (табл. 3).

Таблиця 3

Показники	Номер стрижня	$S_{pi}$ кН		$S_{li}$		Площа стрижня $F$ , см <sup>2</sup>	Довжина стрижня $l$ , см	$f = \sum_{i=1}^n \frac{S_{pi} \cdot S_{li}}{EF_i} \cdot l$
		+	–	+	–			
Верхній пояс	1 2 3 . . $k$							$\sum_{i=1}^k$
Нижній пояс	$k+1$ . . . . $r$							$\sum_{i=k+1}^r$
Розкоси	$r+1$ . . . $s$							$\sum_{i=r+1}^s$
Стійки	$s+1$ . . . $n$							$\sum_{i=s+1}^n$

Для визначення  $S_{pi}$  колеса візка з тиском  $P_1 = P_2 = P$  і базою  $a_T$  необхідно поставити посередині прольоту ферми (вузол  $A_2$ , рис. 4) і рознести тиск в середні три вузли. Від цих трьох сил будується діаграма зусиль Максвела – Кремоні і визначаються  $S_{pi}$  у кожнім стрижні ферми.

Аналогічно визначається  $S_{li}$ . Сила, що дорівнює одиниці, прикладається до середини прольоту (вузол  $A_2$ ), і від цієї сили будується діаграма зусиль. Якщо навантаження і ферма симетричні, то діаграми зусиль можна будувати тільки для половини ферми, не забуваючи, однак, що підсумовування здійснюється для всіх стрижнів ферми. Результати обчислень зводяться в табл. 3. Прогин  $f$  не повинен бути більше допустимого  $[f] = \frac{1}{700} \cdot L$ .

## 7. Розрахунок зварних швів

Розрахунок зварних швів виконаний на прикладі вузла нижнього поясу, що показаний на рис. 7. Довжина зварного шва визначається зусиллям  $S$ , що діє в елементі ферми. Загальна довжина зварного шва розподіляється на шов біля обушка кутника довжиною  $l_1$ , і на шов біля пера кутника  $l_2$ . Шов біля обушка сприймає приблизно  $2/3 S$ ; шов біля пера  $1/3 S$ . Розрахункова довжина шва  $l_1$  визначається за формулою

$$l_1 = \frac{2}{3} \frac{S_{15-25}}{2\beta \cdot k \cdot [\tau]}, \quad (27)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, прийнятий залежно від виду зварювання: для автоматичної зварки  $\beta = 1$ , для ручної –  $\beta = 0,7$ ;  $[\tau] = 0,65[\sigma_1]$  – допустимі напруження. (Число 2 у знаменнику означає, що розкіс складається з 2-х кутників).

Висота катета шва  $k$  призначається на 2 мм меншою, ніж товщина полиці кутника, але не меншою 4 мм. Розрахункова довжина флангового шва повинна бути не менше 40 мм.

Через неякісне зварювання на початку шва і кратера – на кінці шва конструктивна довжина  $l_1$  повинна бути більша за розрахункову на 10–20 мм. Щоб уникнути концентраторів напружень один кінець шва не доводять до обрізу фасонки, а другий – виводять на торець елемента.

Для сталі марки Ст.3 застосовуються електроди типу Е42А, для низьколегованих сталей – Е50А.



## 8. Конструювання ферми

Конструювання ферми починають із креслення осьових ліній, що утворюють геометричну схему конструкцій. При цьому необхідно стежити, щоб осьові лінії елементів пересікалися у вузлах. Геометрична довжина елементів визначається з точністю до 1 мм і наноситься на схему.

Далі наносять контурні лінії стрижнів так, щоб осьові лінії, по можливості, збігалися з центром ваги перетину; допускається відстань від осьової лінії до обушка округляти у більшу сторону до 5 мм. Наприклад, для кутника  $80 \times 5$   $z_0 = 2,75$  см приймають  $t = 30$  мм (рис.7).

Спочатку наносять контурні лінії поясів, потім розкосів і стійок. Щоб уникнути великих усадочних напружень при зварюванні стрижні решітки не доводять до центра вузла (розміри  $C_1$  і  $C_2$ ), щоб відстань між краями елементів решітки і поясу була не менше 40–50 мм.

Обрізку елементів решітки роблять перпендикулярно осі, при великих профілях кутників (ширина полки 90 мм і більше) допускається робити косий зріз торців, як це показано на рис. 7.

Після визначення конструктивної довжини зварених швів, що прикріплюють елементи решітки у вузлі, креслять фасонку найпростішої форми довжиною  $a$  і шириною  $b$ . Фасонка приварюється до пера й обушка кутників нижнього поясу, для чого вона випускається за грань поясу (розмір  $b_1$ ). Приварка виконується зварним швом мінімального катета.

Товщину фасонки рекомендується приймати однаковою для усієї ферми, не більше двох різних товщин. Товщина фасонки  $\delta$  вибирається залежно від зусилля в розкосах  $S$ :

- при  $S \leq 150$  кН  $\delta = 6$  мм;
- при  $S \leq 250$  кН  $\delta = 8$  мм;
- при  $S \leq 400$  кН  $\delta = 10$  мм.

Приварка елементів решітки до верхнього поясу здійснюється безпосередньо до стінки тавра, якщо дозволяє її висота; у протилежному випадку до стінки в місці вузла приварюють встик фасонки необхідної довжини і ширини.

Відстань від центра вузла до торців елементів решітки (розміри  $C_1$  і  $C_2$ , мм) призначають так, щоб конструктивна довжина елементів  $l_0$  мала розмір, кратний 10.

Вище відзначалося, що для забезпечення спільної роботи спарених кутників останні з'єднуються планками довжиною 60–100 мм, на відстанях по осях планок 40  $r$  для стиснутих елементів і 80  $r$  – для розтягнутих.

У межах стиснутого елемента варто ставити не менше двох планок, а в розтягнутих – хоча б одну між вузлами.

### **Список літератури**

1. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів К. : Основа, 2007. – 264 с.
2. О.В. Григоров, Г.О. Аніщенко, Н.О. Петренко Металеві конструкції підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх, меліоративних, машин. – Х. : НТУ «ХП», 2011. – 516 с.
3. Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин /М.М.Гохберг – Л. : Машиностроение, 1976. – 453с.

## Додаток 1

Таблиця Д1

Гнучкість $\lambda$	Коефіцієнти $\phi$ для сталі класу 38/23 (збільшено в 1000 разів)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1000	999	998	997	996	995	993	992	990	989
10	988	986	984	983	981	979	977	975	974	972
20	970	967	965	962	959	956	954	951	948	945
30	943	939	935	931	928	924	920	916	912	908
40	905	901	898	895	891	887	883	879	875	871
50	867	862	857	853	848	843	839	834	829	824
60	820	815	810	805	800	795	790	785	780	775
70	770	764	759	753	748	742	737	731	726	720
80	715	709	703	697	691	685	679	673	667	661
90	655	648	640	638	626	618	611	604	597	589
100	582	575	568	561	554	547	540	533	526	519
110	512	506	499	493	486	480	474	467	461	454
120	448	443	438	432	428	422	417	412	407	402
130	397	392	387	382	376	372	368	363	358	353
140	348	343	339	335	331	326	322	318	313	309
150	305	302	298	295	291	287	284	280	277	273
160	270	267	264	261	258	255	252	249	246	243
170	240	238	235	233	230	228	226	223	221	218
180	216	214	212	210	208	206	204	202	200	198
190	196	194	192	189	187	185	183	181	179	177
200	175	173	172	170	169	167	166	164	163	161



## Додаток 2

№ профі- лю	Маса I пог. м, кг	Розміри, мм				Площа перетину, см <sup>2</sup>	z <sub>0</sub> , см	J <sub>x</sub> , см <sup>4</sup>	Радіуси інерції		
		b	s	R	R				r <sub>x</sub>	r <sub>x0</sub>	r <sub>y0</sub>
2	0,89	20	3	3,5	1,3	1,13	0,60	0,40	0,59	0,75	0,39
	1,15		4			1,46	0,64	0,50	0,58	0,73	0,38
2,5	1,12	25	3	3,5	1,2	1,43	0,73	0,81	0,75	0,95	0,49
	1,46		4			1,86	0,76	1,03	0,74	0,93	0,48
3,2	1,46	32	3	4,5	1,5	1,86	0,89	1,77	0,97	1,23	0,63
	1,91		4			2,43	0,94	2,26	0,96	1,21	0,62
3,6	1,65	36	3	4,5	1,5	2,10	0,99	2,52	1,10	1,39	0,71
	2,16		4			2,75	1,04	3,29	1,09	1,38	0,70
4	1,85	40	3	5	1,7	2,35	1,09	3,55	1,23	1,55	0,79
	2,42		4			3,08	1,13	4,58	1,22	1,53	0,78
	2,90		5			3,70	1,17	5,50	1,20	1,54	0,79
4,5	2,08	45	3	5	1,7	2,65	1,21	5,13	1,39	1,75	0,89
	2,73		4			3,48	1,26	6,63	1,38	1,74	0,89
	3,37		5			4,29	1,30	8,03	1,37	1,72	0,88
5	2,32	50	3	5,5	1,8	2,96	1,33	7,11	1,55	1,96	1,00
	3,05		4			3,89	1,38	9,21	1,54	1,94	0,99
	3,77		5			4,80	1,42	11,2	1,53	1,92	0,98
5,6	3,44	56	4	6	2	4,38	1,52	13,1	1,73	2,18	1,11
	4,25		5			5,41	1,57	16,0	1,72	2,16	1,10
6,3	3,90	63	4	7	2,3	4,96	1,69	18,9	1,95	2,45	1,25
	4,81		5			6,13	1,74	23,1	1,94	2,44	1,25
	5,72		6			7,28	1,78	27,1	1,93	2,43	1,24
7	4,87	70	4,5	8	2,7	6,20	1,88	29,0	2,16	2,72	1,39
	5,38		5			6,86	1,90	31,9	2,16	2,72	1,39
	6,39		6			8,15	1,94	37,6	2,15	2,71	1,38
	7,39		7			9,42	1,99	43,0	2,14	2,69	1,37
	8,37		8			10,70	2,02	48,2	2,13	2,68	1,37
7,5	5,80	75	5	9	3	7,39	2,02	39,5	2,31	2,91	1,49
	6,89		6			8,78	2,06	46,6	2,30	2,90	1,48
	7,96		7			10,1	2,10	53,3	2,29	2,89	1,48
	9,02		8			11,5	2,15	59,8	2,28	2,87	1,47
	10,1		9			12,8	2,18	66,1	2,27	2,86	1,46
8	6,78	80	5,5	9	3	8,63	2,17	52,7	2,47	3,11	1,59
	7,36		6			9,38	2,19	57,0	2,45	3,11	1,58
	8,51		7			10,8	2,23	65,3	2,45	3,09	1,58
	9,65		8			12,3	2,27	73,4	2,44	3,08	1,57
9	8,33	90	6	10	3,3	10,6	2,43	82,1	2,78	3,5	1,79
	9,64		7			12,3	2,47	94,3	2,77	3,49	1,78
	10,9		8			13,9	2,51	106	2,76	3,48	1,77
	12,2		9			15,6	2,55	118	2,75	3,46	1,77

Продовження додатка Д 2

10	10,1	100	6,5	12	4	12,8	2,68	122	3,09	3,88	1,99
	10,8		7			13,8	2,71	131	3,08	3,88	1,98
	12,2		8			15,6	2,75	147	3,07	3,87	1,98
	15,1		10			19,2	2,83	179	3,05	3,84	1,96
	17,9		12			22,8	2,91	209	3,03	3,81	1,95
	20,6		14			26,3	2,99	237	3,00	3,78	1,94
	23,3		16			29,7	3,06	264	2,98	3,74	1,94
11	11,9	110	7	12	4	15,2	2,96	176	3,40	4,29	2,19
	13,5		8			17,2	3,00	198	3,39	4,28	2,18
12,5	15,5	125	8	14	4,6	19,7	3,36	294	3,87	4,87	2,49
	17,3		9			22,0	3,40	327	3,86	4,86	2,48
	19,1		10			24,3	3,45	360	3,85	4,84	2,47
	22,7		12			28,9	3,53	422	3,82	4,82	2,46
	26,2		14			33,4	3,61	482	3,80	4,78	2,45
	29,6		16			37,8	3,68	539	3,78	4,75	2,44
14	19,4	140	9	14	4,6	24,7	3,78	466	4,34	5,47	2,79
	21,5		10			27,3	3,82	512	4,33	5,46	2,78
	25,5		12			32,5	3,90	602	4,31	5,43	2,76
16	24,7	160	10	16	5,3	31,4	4,30	774	4,96	6,25	3,19
	27,0		11			34,4	4,35	844	4,95	6,24	3,18
	29,4		12			37,4	4,39	913	4,94	6,23	3,17
	34,0		14			43,3	4,47	1046	4,92	6,20	3,16
	38,5		16			49,1	4,55	1175	4,89	6,17	3,14
	43,0		18			54,8	4,63	1299	4,87	6,13	3,13
	47,4		20			60,4	4,70	1419	4,85	6,10	3,12
18	30,5	180	11	16	5,3	38,8	4,85	1216	5,60	7,06	3,59
	33,1		12			42,2	4,89	1317	5,59	7,04	3,58
20	37,0	200	12	18	6	47,1	5,37	1823	6,22	7,84	3,99
	39,9		13			50,9	5,42	1961	6,21	7,83	3,98
	42,8		14			54,6	5,46	2097	6,20	7,81	3,97
	48,7		16			62,0	5,54	2363	6,17	7,76	3,96
	60,1		20			76,5	5,70	2871	6,12	7,72	3,93
	74,0		25			94,3	5,89	3466	6,06	7,63	3,91
	87,6		30			111,5	6,07	4020	6,00	7,55	3,89

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Опис конструкції та вихідні дані.....	3
2. Навантаження і їхні сполучення.....	4
3. Вибір марки сталі і допустимих напружень.....	5
4. Визначення зусиль в елементах головної ферми.....	8
4.1. Визначення зусиль від навантажень, що діють у вертикальній площині ферми.....	8
4.2. Визначення зусиль від навантажень, діючих у горизонтальній площині ферми.....	9
5. Вибір перерізів елементів головної ферми.....	13
5.1. Вибір перерізу верхнього поясу.....	13
5.2. Вибір перерізу нижнього поясу.....	17
5.3. Вибір перерізу розкосів і стійок.....	18
6. Визначення прогину ферми.....	19
7. Розрахунок зварних швів.....	20
8. Конструювання ферми.....	22
Список літератури.....	23
ДОДАТОК 1.....	24
ДОДАТОК 2.....	25

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до розрахунку моста решітчастої конструкції  
з курсу  
«Металеві конструкції ПТМ»  
для студентів спеціальності 6.05050308  
“Підйомно-транспортні, дорожні,  
будівельні, меліоративні машини  
та обладнання”

Укладачі: ГРИГОРОВ Отто Володимирович  
ПЕТРЕНКО Надія Олександрівна

Відповідальний за випуск О.В.Григоров

Роботу до видання рекомендував В.Г. Дьяченко

Редактор Ю.І. Гуренко

План 2014 р., поз. 75

Підп. до друку \_\_\_\_\_ Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.

Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman.

Обл. – вид.арк 1,1. Наклад 150 прим. Зам. №\_\_. Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХПІ».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 24.12.2009 р.

61002 Харків, вул. Фрунзе , 21

---

Друкарня НТУ «ХПІ», 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21